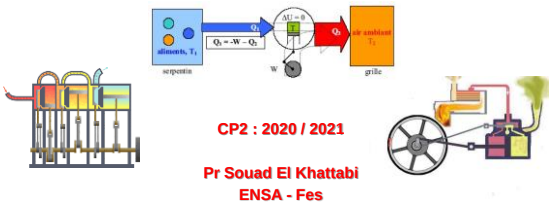
Elément de module

Thermodynamique



CP2 : 2020 / 2021

Pr Souad El Khattabi
ENSA - Fes

Contenu de l'EM

- Outils Mathématiques
- Introduction à la thermodynamique & notions de base
- Equation, fonction d'état et transformation d'un système
- Notion de température et de Pression
- Notion de chaleur, de travail et d'énergie
- Gaz parfaits et gaz réels
- Premier principe de la thermodynamique
- Deuxième principe de la thermodynamique
- Applications aux machines thermiques

Outils Mathématiques (déjà fait)

- Introduction à la thermodynamique & notions de base

L'objectif de cette partie est de rappeler brièvement un certain nombre d'outils mathématiques auxquels on aura recours pour l'application des deux principes de la thermodynamique:

Dérivées partielles - différentielles - Calcul intégral - Fonctions à plusieurs variables.

Introduction à la thermodynamique & notions de base

La thermodynamique ?

Thermo → **Thermo/Thermique**

dynamique → **Dynamique/ Mécanique**

Thermodynamique = Le mouvement produit à partir de la chaleur.
C' est la discipline qui étudie des échanges d'énergies mécaniques (travail) et thermiques (chaleur) entre un système et le milieu extérieure.

Branche récente de la physique, début du XIX siècle. C'est une discipline transversale. Ses applications sont multiples, de la biologie à la mécanique en passant par la chimie.

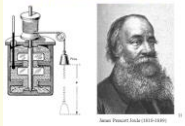
D'ailleurs, son premier principe fut énoncé simultanément par trois scientifiques, vers le milieu du XIX siècle :

→Von Mayer, un médecin qui étudia l'équivalence entre travail, chaleur et énergie chimique ;
Il formule en 1842 le principe de la conservation de l'énergie.

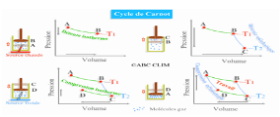
→ Joule, qui montra les équivalences entre la chaleur et le travail mécanique ;

L'expérience de Joule montre qu'il y a équivalence entre la chaleur et le travail. Joule, dans son expérience, utilise une masse qui entraine une roue à aubes dans un cylindre calorifugé appelé calorimètre rempli d'eau dont l'élévation de température est mesurée au moyen d'un thermomètre et il trouve l'équivalent mécanique de la chaleur, c'est-à-dire une calorie est équivalente à 4.18 joules.

Expérience de Joule



→ Carnot, qui avait exploré la transformation de chaleur en travail.



https://fr.slideshare.net/IsmailAboud/84095912-thermodynamique

NB: Les systèmes étudiés, en thermodynamique, sont en général des fluides (gaz ou liquide) comportant un nombre élevé de particules qui sont interaction, leurs étude est donc impossible avec la mécanique classique.

La thermodynamique traite des problèmes de conservation et de conversion des différentes formes d'énergie. C'est un outil pour expliquer, contrôler et prédire le comportement de systèmes physiques. Elle permet:

- de définir les échanges d'énergie et de matière
- de prévoir les conditions dans lesquelles une transformation évolue spontanément.

La thermodynamique s'appuie sur ses propres lois et principes

- **Principe zéro :** Notion d'équilibre thermique. Si deux systèmes sont en équilibre thermique avec un troisième, alors ils sont aussi ensemble en équilibre thermique. C'est à la base de la thermométrie.
- **1ère Principe:** Conservation de l'énergie. L'énergie totale d'un système isolé reste constante. On ne crée pas l'énergie, on la transforme.
- **2ème Principe :** Direction naturelle des transformations. Il introduit la notion d'irréversibilité d'une transformation et la notion d'entropie. Un système passe spontanément d'un état ordonné vers un état désordonné
- **3ème Principe :** État à la température zéro absolue. Ce principe appelée théorème de Nernst. Il stipule que lorsque le zéro absolu est atteint, 0 Kelvin, tout processus d'un système physique s'arrête et l'entropie atteint une valeur minimale et constante.

NB: Principe ne se démontre pas mais l'expérience montre que ses conséquences sont toujours vérifiées

Plusieurs approches de la thermodynamique sont possible:

Thermodynamique classique:
La thermodynamique classique est l'étude des propriétés macroscopiques d'un système (P, V, T…) sans se préoccuper des processus microscopiques.

Thermodynamique statistique:
La thermodynamique statique est l'étude la relation entre propriétés moléculaires, agitation moléculaire, et les propriétés macroscopiquesT, P,… etc
Elle dépend des modèles moléculaires et s'appui sur la mécanique statique.

Thermodynamique technique :
La thermodynamique technique c'est l'étude des machines thermiques, frigorifique ,..etc)

Thermodynamique chimique ou **thermochimie** s'intéresse aux systèmes qui sont le siège d'une réaction chimique ou d'un équilibre chimique.

Généralités et Définitions

Quelques définitions

→ **Système:**

Objet ou ensemble d'objets, dont on réalise l'étude,

Tout ce qui ne fait pas partie du système constitue le milieu extérieure

Système + Milieu extérieur = Univers.

Le système est limité par une frontière (Paroi), réelle ou fictive, fixe ou mobile, à travers laquelle des échanges d'énergie et de matière s'effectuent avec le milieu extérieur.

Il existe différents types de parois:

✓*Perméables :* Permettent l'échange de matière et d'énergie,

✓*Imperméables :* Ne permettent pas l'échange de matière. Mais l'échange d'énergie est possible,

✓*Rigides ou indéformables* : Ne permettent pas l'échange d'énergie mécanique,

✓*Mobiles ou déformables :* Permettent l'échange d'énergie mécanique,

✓*Adiabatiques :* Ne permettent pas l'échange de chaleur,

✓*Diathermes :* Permettent l'échange thermique.

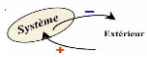
On distingue, selon la nature des parois:

Systèmes	Echange d'énergie	Echange de matière
Isolé	NON	NON
Ouvert	OUI	OUI
Fermé	OUI	NON
Adiabatique	NON	OUI

NB: Les échanges d'énergies se font par transfert de W ou Q

Convention de signe

Lorsque le système reçoit de l'énergie ou de la matière, le signe est par convention positif (+)
Lorsque le système perd de l'énergie ou de la matière, le signe est par convention négatif (-)



→ **Variable d'état:**

Connaître l'état d'un système, c'est déterminer à tout instant (t) les valeurs et le nombre minimum de variables mesurables, appelées pour cette raison variables d'état, capables de décrire le système et ses caractéristiques macroscopique.

Exp: **La pression *P*, le volume *V*, le nombre de moles *N*, *la* température *T* ..**

Les variables d'états peuvent être classées en deux catégories :

-Variables d'état intensives: indépendantes de la quantité de matière du système (T, P, ..etc), Elles ne sont pas additives

-Variables d'état extensives: proportionnelles à la quantité de matière du Système (V, m,,..etc), Elles sont additives.

Exemple :

1 litre d'eau à 300K + 1 litre d'eau à 300K → 2 litres d'eau à 300K
V1, T1 + V2, T1 → (V1 + V2), T1

Equation, fonction d'état et transformation d'un système

→ Equation d'état:

Une équation d'état est une relation qui lie les différentes variables d'état (intensives ou extensives) d'un système à l'équilibre thermodynamique

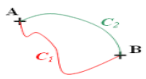
Exemple: Equation d'état la plus simple est celle des gaz parfaits :

$$PV = nRT$$

P : La pression V : Le volume n : Le nombre de moles à l'état gazeux
R : La constante des gaz parfait T : La température absolue en Kelvin. T (K) = t°C + 273,

→ Fonction d'état:

C'est une fonction qui ne dépend que des seules variables d'état du système.
Elle est indépendante de la transformation subie par le système pour arriver à l'état final.
Au cours d'une transformation, la variation d'une fonction d'état ne dépend pas du chemin suivi.
Elle dépend uniquement de l'état initial et de l'état final.



L'énergie interne U, l'enthalpie H, l'entropie S: sont des fonctions d'état.

→Equilibre d'un système thermodynamique:

L'équilibre thermodynamique d'un système est atteint lorsque son état est stationnaire, c.t.d, tous les paramètres d'état restent constants au cours du temps.
Cette équilibre thermodynamique résulte de l'équilibre thermique, équilibre mécanique ou encore équilibre chimique. On retiendra pour ce cours les deux premiers équilibres.
***Equilibre thermique :* équilibre atteint lorsque la température, est la même en tout point du système.**
***Equilibre mécanique :* équilibre atteint lorsque la pression est la même en tout point du système.**

→Evolution d'un système thermodynamique:

Un système est en évolution si au moins une de ses variables d'état change avec le temps
Cette évolution est dû à ses échanges avec le milieu extérieur effectués sous forme de travail (W) ou de chaleur (Q)

→ Les transformations de base:

- ✓ **Transformation isotherme : transformation à T = constante.**
- ✓ **Transformation isochore : transformation à V = constant.**
- ✓ **Transformation isobare : transformation à P = constante.**
- ✓ **Transformation adiabatique : transformation qui s'effectue sans échange de chaleur avec le milieu extérieur . le système est thermiquement isolé.**
- ✓ **Transformation cyclique (état final = état initial).**
- ✓ **Monotherme : transformation à T = constante en contact avec une seule source**
- ✓ **Ditherme : transformation se faisant en contact avec deux sources**

NB: il ne faut pas confondre les deux transformations adiabatique et isotherme : elles sont différentes.

Ces différentes transformations peuvent être réalisées de façon réversible de façon irréversible ou de façon quasi-statique

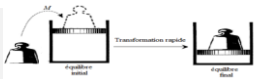
- Transformations irréversibles:

C'est une transformation spontanée qui se fait dans un sens unique.

I ⟶ **F**

C'est une transformation naturelle, spontanée, brutale et rapide
Les variables intensives du système lors de cette transformation sont en général différentes du celle du milieu extérieur.

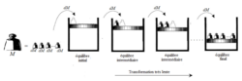
En faisant passer le système d'un état d'équilibre (1) à un état d'équilibre (2), les états successifs Intermédiaires ne sont pas des états d'équilibre, la transformation est dite irréversible

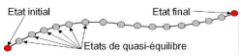


Compression irréversible par dépôt brusque de la masse M

- Transformations réversibles

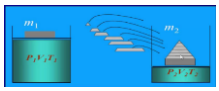
Au cours d'une transformation réversible d'un état initial I à un état finale F, le système est en chaque instant en état d'équilibre avec le milieu extérieur.
C'est une transformation théorique, lente et imaginaire.

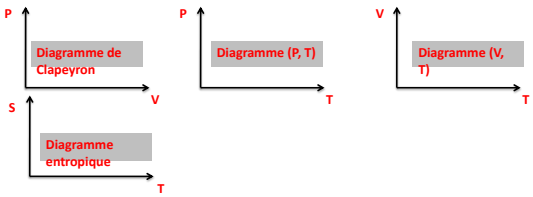




- Transformation quasi-statique

C'est une transformation constituée d'une suite continue d'états d'équilibre interne pour le système étudié.
A tout instant de la transformation, les variables du système sont définies.



→Représentation d'un état:

Soit un système constitué de n moles d'un gaz parfait. Son état à un instant t est déterminé par la connaissance de deux variables d'état indépendantes.
Cet état peut être représenté dans l'un des digrammes suivants: